



## Title of The Invention

プラズマ処理方法およびその装置

Method and Apparatus for Plasma Processing

## Background of The Invention

本発明は、半導体基板や液晶基板などの半導体デバイスを製造する方法およびその装置に係り、特に、薄膜の生成（成膜）やエッチング等の加工を行う処理室（真空処理室）内に浮遊した異物、及び、処理室の汚染状況を、*in-situ* 計測する機能を備えたプロセス処理方法およびその装置に関する。

エッチング装置を始めとして、プラズマを用いた処理が半導体製造工程や液晶表示装置用基板製造工程に広く適用されている。

このように、プラズマを用いた処理装置では、プラズマ処理による例えばエッチング反応によって生成された反応生成物が、プラズマ処理室の壁面あるいは電極に堆積し、これが時間経過に伴い、剥離して浮遊異物となることが知られている。この浮遊異物は、エッチング処理が終了しプラズマ放電が停止した瞬間に、ウェハ上に落下して付着異物となり、回路の特性不良やパターン外観不良を引き起こす。そして、最終的には、歩留まりの低下や素子の信頼性低下の原因となる。

上記ウェハ等の被処理基板の表面に付着した異物を検査する装置は、多数報告され実用化されているが、これらは、プラズマ処理装置から一旦被処理基板を抜き出して検査を行うもので、異物が多く発生していると判った時点では、既に他のウェハの処理が進んでおり、不良の大量発生による歩留まりの低下の問題がある。また、処理後の評価では、処理室内の異物発生の分布、経時変化などは判らない。従って、処理室内の汚染状況を *in-situ* でリアルタイムモニタする技術が、半導体製造や液晶製造等の分野で求められている。

処理室内で浮遊する異物の大きさは、サブミクロンから数百  $\mu\text{m}$  の範囲であるが、256 Mbit DRAM (Dynamic Random Access Memory)、さらには 1 Gbit DRAM へと高集積化が進む半導体の分野においては、回路パターンの最小線幅は 0.25 ~ 0.18  $\mu\text{m}$  と微細化の一途を辿っており、検出すべき異物の大きさもサブミクロンオーダーが要求されている。

プラズマ処理室等の処理室（真空処理室）内に浮遊した異物をモニタする従来技術としては、特開昭57-118630号公報（従来技術1）、特開平3-25355号公報（従来技術2）、特開平3-147317号公報（従来技術3）、特開平6-82358号公報（従来技術4）、特開平6-124902号公報（従来技術5）、特開平10-213539号公報（従来技術6）、特開平11-251252号公報（従来技術7）、および特開平11-330053号公報（従来技術8）に開示された技術が挙げられる。

上記従来技術1には、反応空間における自己発光光のスペクトルと異なったスペクトルを有する平行光を反応空間に照射する手段と、上記平行光の照射を受けて上記反応空間において発生する微粒子からの散乱光を検出する手段とを、具備した蒸着装置が開示されている。

また、上記従来技術2には、半導体装置用基板表面に付着した微細粒子及び浮遊している微細粒子を、レーザ光による散乱を用いて測定する微細粒子測定装置において、波長が同一で相互の位相差がある所定の周波数で変調された2本のレーザ光を発生させるレーザ光位相変調部と、上記2本のレーザ光を上記の測定対象である微細粒子を含む空間において交差させる光学系と、上記2本のレーザ光の交差された領域において測定対象である微細粒子により散乱させた光を受光し、電気信号に変換する光検出部と、この散乱光による電気信号の中で上記レーザ光位相変調部での位相変調信号と周波数が同一または2倍で、かつ上記位相変調信号との位相差が時間的に一定である信号成分を取り出す信号処理部とを、備えた微細粒子測定装置が開示されている。

また、上記従来技術3には、コヒーレント光を走査照射して反応容器内で散乱する光をその場で発生させるステップと、上記反応容器内で散乱する光を検出するステップとを含み、それにより上記散乱光を解析することで、上記反応容器内の汚染状況を測定する技術が記載されている。

また、上記従来技術4には、レーザ光を生成するレーザ手段と、観測されるべき粒子を含むプラズマ処理ツールの反応室内の領域を上記レーザ光で走査するスキャナ手段と、上記領域内の粒子によって散乱したレーザ光のビデオ信号を生成するビデオカメラと、上記ビデオ信号のイメージを処理し表示する手段とを、有

する粒子検出器が記載されている。

また、上記従来技術 5 には、プラズマ処理室内のプラズマ発生領域を観測するカメラ装置と、該カメラ装置により得られた画像を処理して目的とする情報を得るデータ処理部と、該データ処理部にて得られた情報に基づいてパーティクルを減少させるように排気手段、プロセスガス導入手段、高周波電圧印加手段及びバージガス導入手段のうち少なくとも 1 つを制御する制御部とを、備えたプラズマ処理装置が記載されている。

また、上記従来技術 6 には、測定体積を横切って照射する光ビームを送出する光送出器と、光検出器と上記測定体積からの散乱光を集光してその光を上記光検出器に向ける光学系とを含み、その光検出器に向けられた光の強度を表す信号をその光検出器が発生するように構成した検出器と、前記光検出器からの信号を分析するように相互接続され、前記光検出器からの信号の中のパルスを検出するパルス検出器と、微粒子に対応しその微粒子が前記測定体積の中を動く間の前記ビームによる複数回の照射に伴う前記微粒子による散乱光に起因する一連のパルスを特定する事象検出器とを含む信号処理手段とを含む微粒子センサが記載されている。

また、上記従来技術 7 には、処理室内にプラズマを発生させ、該プラズマによって被処理対象物に対して処理するプラズマ処理装置において、所望の波長を有し、所望の周波数で強度変調した光を上記処理室内に照射する照射光学系と、上記処理室から得られる散乱光を上記所望の波長成分で分離して受光して信号に変換する散乱光検出光学系と、該散乱光検出光学系から得られる信号から上記強度変調した所望の周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す信号を上記プラズマによるものから分離して検出する異物信号抽出手段とを備えたプラズマ浮遊異物計測装置を設けることが開示されている。

また、上記従来技術 8 には、処理室内にプラズマを発生させ、該プラズマによって被処理対象物に対して処理するプラズマ処理装置において、互いに異なる波長を有し、所望の周波数で強度変調した複数のビームを上記処理室内に照射する照射光学系と、その散乱光を互いに異なる波長成分で分離して受光して複数の信号に変換する散乱光検出光学系と、該散乱光検出光学系から得られる複数の信号

から上記強度変調した所望の周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す複数の信号を上記プラズマによるものから分離して検出する異物信号抽出手段とを備えたプラズマ浮遊異物計測装置を設けることが開示されている。

上記した従来技術 1～6 は、プラズマ処理室の側面に設けられた観測用窓からレーザ光を照射し、対向した側面あるいはその他の側面に設けられた上記レーザ照射用観測窓とは異なる観測用窓から、レーザ前方散乱光や側方散乱光を検出するものである。したがって、これらの前方散乱光や側方散乱光を検出する方式では、照射光学系と検出光学系とが各々異なるユニットで形成され、これらを取り付ける観測用窓も 2 つ必要であり、また、光軸調整等も、照射・検出光学系で各々行わなければならない、取り扱いが面倒なものとなっていた。

また、通常、プラズマ処理室などの処理室の側面の観測用窓は、プラズマ発光などをモニタするためにほとんどの機種に設けられているが、この観測窓は 1 つのみしか備え付けられていない場合も少なくない。従って、観測用窓を 2 つ必要とする従来手法は、観測用窓を 1 つしか備えていない処理室をもつ製造装置には、適用することができないという課題がある。

さらに、前方散乱光や側方散乱光を検出する従来方式においては、プラズマ処理室へ照射する照射ビームを回転走査させて、ウェハ等の被処理基板の全面上の異物発生状況を観測しようとした場合には、多数の観測窓と検出光学系とを必要とし、大幅なコストアップ要因となる上、多数の観測窓や検出光学系を設けることも、スペースファクター上の制約から実際には非常に困難であると予想される。

一方、256 Mbit DRAM、さらには 1 Gbit DRAM へと高集積化が進む半導体の分野においては、回路パターンの最小線幅は 0.25～0.18  $\mu$ m と微細化の一途を辿っており、検出すべき異物の大きさもサブミクロンオーダーが要求されている。しかし、従来技術 1～6 では、異物散乱光とプラズマ発光の分離が困難であるため、比較的大きな異物の観測に適用が限定され、サブミクロンオーダーの微小異物を検出することは困難であると考えられる。

また、従来技術 7、8 には、プラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を検出することについては記載されているが、プラズマ処理室の内壁に付着若しくは

堆積する汚染状態を検出することについては考慮されていなかった。

## Summary of The Invention

本発明は、上記課題を解決して、エッチング、スパッタ、CVDなどのプラズマ処理装置におけるプラズマ処理室内壁の汚染状況を検出できるようにして被処理基板上に異物が多く発生するのを予測して早期に清掃等の対策を施して多量の不良の発生を防止できるプラズマ処理方法およびその装置を提供する。

また、本発明は、プラズマ処理室内壁の汚染状況を検出でき、しかもプラズマ処理室内に浮遊した異物の検出をもできるようにして、被処理基板上に異物が多く発生するのを防止する対策を早めに施して多量の不良の発生を防止できる半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置を提供することにある。

また、本発明は、内壁の汚染状態や浮遊した異物を検出する照射・検出光学系をコンパクトにして限られた狭いスペースに取り付けができるようにしたプラズマ処理方法およびその装置を提供する。

即ち、本発明では、被処理基板を内部にセットした処理室内にプラズマを発生させ、処理室内に発生させたプラズマを用いて被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、光ビームを観察窓を通して前記処理室内に照射し、この照射により処理室内壁からの反射光を観察窓を通して検出し、この反射光を検出して得た信号を処理することにより処理室内壁の汚染状況の情報を得るように構成した。また、この得た内壁の汚染状況の情報に基づいて被処理基板に対するプラズマ処理を制御するようにした。

また、本発明では、被処理基板を内部にセットした処理室内にプラズマを発生させ、処理室内に発生させたプラズマを用いて被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、光ビームを観察窓を通して前記処理室内に照射し、この照射により処理室内から反射して観察窓を通過した反射光を分岐し、この分岐した一方の反射光を検出して処理室内に浮遊する異物に関する情報を得、そして、分岐した他方の反射光を検出して処理室内壁の汚染状況に関する情報を得るように構成した。また、処理室内に浮遊する異物に関する情報と処理室内壁の汚染状況に関する情報とに基づいて被処理基板に対するプラズマ処理を制御するよう

にした。

また、本発明では、処理室内壁の汚染状況と浮遊異物については、個数、大きさ、分布とを判別してディスプレイ上に表示するようにした。

以上説明したように、本発明によれば、処理室内壁の汚染状況を常に把握できることによって、早期に浮遊異物が多く発生するのを予測して、被処理基板へのプラズマ処理の制御をする（被処理基板の投入を中止してクリーニングを実行するなど、また、プロセス処理の条件を監視するなど様々な対策を施す）ことによって、多量に不良が発生するのを防止して、歩留まりを著しく向上させることができる。

.....

These and other objects, features and advantages of the invention will be apparent from the following more particular description of preferred embodiments of the invention, as illustrated in the accompanying drawings.

## Brief Discription of The Drawings

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

図2は、本発明の第1の実施の形態における、異物散乱光及び処理室内壁反射（散乱）光検出のための光学系を単純化した説明図である。

図3は、プラズマ励起周波数とプラズマ発光が同期している様子を示す説明図である。

図4は、異物散乱光のプラズマ発光からの波長・周波数分離の様子を示す説明図である。

図5は、本発明の第1の実施の形態における、ウェハ上5点での検出光強度の時間変化を示す図である。

図6は、本発明の第1の実施の形態における、ウェハ上5点での異物信号強度の時間変化を示す図である。

図7は、本発明の第1の実施の形態における、処理室内壁での照射レーザ光の

反射の様子を示す図である。

図 8 は、本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁での照射レーザ光の散乱の様子を示す図である。

図 9 は、本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

図 10 は、本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

図 11 は、本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

図 12 は、本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

図 13 は、本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルの時間変化を示す図である。

図 14 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

図 15 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る、処理室内壁反射（散乱）光画像を示す図である。

## Description of The Preferred Embodiments

以下、本発明に係る実施の形態を、図 1 ～図 15 を用いて説明する。

なお、以下に述べる本発明の各実施形態では、プラズマドライエッチング装置に利用されている、平行平板形プラズマエッチング装置への適用例を示すが、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、本発明は、スパッタ装置や CVD 装置などの薄膜生成（成膜）装置、あるいは、ECR エッチング装置やマイクロ波エッチング装置、またはアッシング装置などの各種薄膜生成、加工装置への適用が可能である。

まず、本発明に係る第 1 の実施の形態を、図 1 ～図 13 を用いて説明する。図 1 は、本第 1 の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプ

ラズマ中浮遊異物計測装置をもつプラズマエッチング処理装置の構成を示す図である。即ち、本発明に係る第1の実施の形態は、エッチングやアッシングなどの各種処理装置に、処理室内壁の汚染状況をモニタリングできる計測装置を備えることにある。

図1に示すように、エッチング処理装置では、シグナルジェネレータ83からの高周波信号によりパワーアンプ84の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器85によって分配して、プラズマ処理室86内において互いに平行に配置した上部電極81と下部電極82の間に印加して、両電極間での放電によりエッチング用ガスからプラズマ71を発生させ、その活性種で被処理体としての半導体基板（ウェハ）Wをエッチングする。高周波信号としては、例えば400kHzが用いられる。

処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置2は、主としてレーザ照明光学系2000と、散乱光検出光学系2001と、制御・信号処理系6000とにより構成され、レーザ照明光学系2000と散乱光検出光学系2001における照明光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10に対向するように配置されている。

レーザ照明光学系2000では、まず、レーザ光源（例えば、波長532nm）12から出射されたS偏光ビーム101をAO（Acousto-Optical）変調器14に入射する。AO偏光器14には、計算機42からの制御信号に基づき、発振器13から出力された例えば周波数170kHz、好ましくはデューティ50%の矩形波信号を印加して、S偏光ビームを上記周波数で強度変調する。ここで、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を400kHzとした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、400kHzおよびその整数倍の高調波成分800kHz、1.2MHz、…とは異なる上記周波数170kHzなどが良い。理由については後で述べる。

強度変調されたS偏光ビーム102は、フォーカシングレンズ18により、ウェハ（被対象基板）Wの中心近傍に集光させ、偏光ビームスプリッタ24により低損失で反射され、1/4などの波長板26により円若しくは楕円偏光ビーム103に変換した後、ガルバノミラー25により反射され、プラズマ処理室86の



側面に設けられた観測用窓10を通して処理室内へと導かれる。ここで、ガルバノミラー25を回転させ、円若しくは楕円偏光ビーム103をウェハWの面に平行な面内で走査することにより、ウェハ直上全面での照射（異物検出）が可能となる。

ここで、1/4などの波長板26を設けたのは、後述するように、処理室の内壁5からの散乱反射光を偏光ビームスプリッタ24を透過させ、処理室反射光検出用光ファイバ33bで受光できるようにしたためである。

なお、プラズマ処理室86の内壁5の汚染状況をモニタリングする場合には、プラズマ処理室86の特定個所のみモニタリングできればよいので、必ずしも円若しくは楕円偏光ビーム103を、ウェハWの面に平行な面内で走査する必要はない。しかし、プラズマ処理室86の内壁5の汚染状態も、ウェハW上に浮遊する異物72も同時に検出しようとする、円若しくは楕円偏光ビーム103をウェハWの面に平行な面内で走査することが望ましい。

そして、上記観測用窓10の入射面を側壁と平行に形成してある場合、上記観測用窓10からの正反射光は、ガルバノミラー25で反射し、1/4などの波長板26を再び通過することでP偏光となり、偏光ビームスプリッタ24を透過し、散乱光検出光学系2001で検出され、大きな雑音となる。そこで、上記観測用窓10の入射面を傾斜面で形成することにより、この面での反射光は、検出光軸からずれて、散乱光検出光学系2001には入射しないようにして、上記観測窓10からの反射光による雑音を防いでいる。

次に、異物散乱光の検出方法について説明する。プラズマ処理室86内へ導かれた円偏光ビーム103は、プラズマ中の浮遊異物72により散乱される。該異物散乱光のうち照射円偏光ビーム103と同じ光軸を反対方向に伝搬する後方散乱光は、観測用窓10を通過してガルバノミラー25により反射され、偏光ビームスプリッタ24へと向かう。該後方散乱光のうち、正反射成分に相当する円偏光成分は、1/4などの波長板26を再び通過することでP偏光ビーム104となり、偏光ビームスプリッタ24を低損失で透過し、ビームスプリッタ（分岐光学系）27に向かう。上記P偏光ビーム104の大半はビームスプリッタ（分岐光学系）27を透過して結像レンズ31aにより異物散乱光検出用光ファイバ3

3 a の入射面に集光される。

図2に示すように、ウェハWの中央位置7 3 bと検出用光ファイバ3 3 aの入射面とが結像関係になっているが、入射端面の（受光領域）は、デフォーカスしたウェハ両端7 3 a、7 3 cからの散乱光も検出可能な大きさとなっている。従って、ウェハ手前から奥までの異物後方散乱光を、検出用光ファイバ3 3 aによりほぼ同じ感度で検出できる。大きな受光面を確保するために、バンドルファイバやリキッドライトガイドを利用する方法が有効である。処理室内壁5で生じる散乱光は、異物散乱光検出用光ファイバ3 3 aの受光面の手前（空間フィルタ3 6の位置）で結像するため、該結像位置に空間フィルタ3 6を設置することによって処理室の内壁5で生じる散乱光を遮光する。異物散乱光検出用光ファイバ3 3 aの出射端は、レーザ光源1 2の波長に設定されたモノクロメータや干渉フィルタなどの分光器3 4 aに接続され、該分光器3 4 aによりプラズマ発光から異物散乱光の波長成分のみを波長分離した後、フォトダイオードや光電子増倍管などの光電変換素子3 5 aで光電変換される。光電変換された検出信号は、アンプ5 0 aで増幅された後、ロックインアンプ5 1 aにより、レーザ光の強度変調に用いた発振器1 3から出力された周波数1 7 0 k H z、デューティ5 0 %の矩形波信号を参照信号として同期検波され、上記検出信号から周波数1 7 0 k H zの異物散乱光成分を抽出する。

図3に示すように、プラズマ発光の強度はプラズマ励起用の高周波電力の変調周波数に同期していることを、本願発明者らは実験によって検証しており、例えば、上記4 0 0 k H zのプラズマ励起周波数の高周波電力により発生したプラズマの発光から、分光器3 4により波長分離し、プラズマ励起周波数およびその整数倍と異なる上記周波数1 7 0 k H zで変調・同期検波して得た異物信号は、図4に示すように、プラズマ発光から、波長・周波数2つの領域で分離され、検出される。この方法により、プラズマ発光から微弱な異物散乱光を感度良く検出できることを、本願発明者らは実験的に確認している。即ち、図4に示すように、プラズマ発光は、波長領域においては連続的に分布しているが、周波数領域においては、離散的に存在し、周波数領域において空き領域がある。従って、例えば波長5 3 2 n mのレーザ光を、上記プラズマ発光の周波数とは異なる、例えば周

波数 170 kHz で強度変調してプラズマ処理室 86 内に入射し、検出光の中から波長 532 nm 成分、周波数 170 kHz 成分、すなわちピーク信号のみを取り出せば、異物からの散乱光をプラズマ発光から分離して検出することが可能なる。

このように、異物散乱光検出用光ファイバ 33a の受光面の手前の結像位置に、空間フィルタ 36 を設置することによって、処理室内壁 5 で生じる散乱光を遮光してウェハ W 上の浮遊異物からの散乱光を異物散乱光検出用光ファイバ 33a に入射せしめることが可能となる。更に、プラズマ処理室 86 に入射するレーザ光の波長および強度変調周波数を、プラズマ発光の波長および周波数と異ならしめることによって、浮遊異物からの散乱光を、プラズマ発光から分離して検出することが可能となる。

そして、ロックインアンプ 51a の出力は計算機 42 に送られる。計算機 42 では、ガルバノドライバ 29 を介して走査信号をガルバノミラー 25 に送り、ビームを走査しつつ各走査位置で取り込んだ異物信号を、例えば、図 5 に示すような形で逐一ディスプレイ 41 上に表示する。図 6 に示すように、計算機 42 は、各検出位置において、 $n$  回目の走査時の出力と  $(n-1)$  回目の走査時の出力の差分をとり、ある値以上の変化のみをディスプレイ 41 上に表示すると、異物信号の判定が容易となる。該表示例では、 $\phi 200$  mm のウェハ上の照射光 5 ラインでの計測結果が示されている。プラズマ中の浮遊異物により散乱光が発生した場合には、上記図 6 において 5 箇所を示した様な、パルス上の大きな信号 81a、81b、81c、81d および 81e が現れる。計算機 42 では、予め実験により得られた粒径に対する信号強度と検出された異物信号強度とを比較して異物の大きさを、また、上記パルス状の信号の数から異物個数を、また、信号が検出された時の走査位置から異物の発生位置を判定する。更に、計算機 61 では、判定した異物の個数及び大きさなどから処理室内の汚染状況を判断し、異物発生総数が予め設定した基準値を超えたときはエッチング処理を終了する、汚染状況をアラームなどでプラズマ処理装置操作者に知らせる等の情報を出力することができる。

次に、処理室内壁散乱光の検出方法について説明する。プラズマ処理室 86 内

へ導かれた円若しくは楕円偏光ビーム103は、プラズマ処理室86の内壁5に当たる。このとき、該プラズマ処理室86の内壁5の表面の状態により、反射や散乱の様子が異なる。図7は、プラズマ処理室86の内壁5の表面の状態が、凹凸の少ない平坦な状態である場合を示している。プラズマ処理室内壁5の表面の状態が凹凸の少ない平坦な状態（洗浄若しくは清掃した直後の反応生成物の付着やプラズマダメージが少なく汚染されていない状態）である場合、該プラズマ処理室86の内壁5に当たった円若しくは楕円偏光ビーム103の大半は反射する。従って、ガルバノミラー25を回転させることによってビームをウェハ面に平行な面内で走査した場合において、ビーム走査位置がウェハ中心にある場合、プラズマ処理室86の内壁5での反射光の大半が観測用窓10を通過してガルバノミラー25により反射され、偏光ビームスプリッタ24へと向かうことになる。

プラズマ処理室86の内壁5での反射光（散乱光）の大半は、正反射成分に相当する円偏光成分であるため、1/4などの波長板26を再び通過することでP偏光ビーム105となり、偏光ビームスプリッタ24を低損失で透過し、ビームスプリッタ（分岐光学系）27に向かう。上記P偏光ビーム105の一部はビームスプリッタ27で反射して、結像レンズ31bにより処理室反射光検出用光ファイバ33bの入射面（ピンホール39の位置）に集光される。処理室反射光検出用光ファイバ33bの手前における、レンズ31bによってプラズマ処理室86の内壁5とほぼ結像関係にある位置には、ピンホール（絞り）39が設けられているため、該ピンホール39を通過するのは、プラズマ処理室86の内壁5からの反射光（散乱光）のみと発光強度の強いプラズマ発光の一部となる。その結果、処理室反射光検出用光ファイバ33bは、プラズマ処理室86の内壁5からの反射光（散乱光）のみと発光強度の強いプラズマ発光の一部を検出することになる。このように、処理室反射光検出用光ファイバ33bには、発光強度の強いプラズマ発光の一部が入射されるため、次に説明するように、プラズマ発光の一部によって生じる信号を消去する必要がある。

即ち、処理室反射光検出用光ファイバ33bの出射端は、レーザ光源12の波長に設定されたモノクロメータや干渉フィルタなどの分光器34bに接続されているため、該分光器34bによってプラズマ発光から内壁5からの反射光の波長

成分のみを波長分離した後、フォトダイオードや光電子増倍管などの光電変換素子 35 b で光電変換される。光電変換された検出信号は、アンプ 50 b で増幅された後、ロックインアンプ 51 b により、レーザ光の強度変調に用いた発振器 13 から出力された周波数 170 kHz、デューティ 50 % の矩形波信号を参照信号として同期検波され、上記検出信号から周波数 170 kHz の内壁 5 からの反射光（散乱光）成分を抽出する。ロックインアンプ 51 b の出力は計算機 42 に送られる。計算機 42 では、ガルバノドライバ 29 を介して走査信号をガルバノミラー 25 に送り、ビームを走査しつつ各走査位置で取り込んだ内壁 5 の汚染状態を示す信号を、例えば、図 13 に示すような形で逐一ディスプレイ 41 上に表示する。ここで、ビーム走査位置がウェハ中心からずれた場合には、プラズマ処理室 86 の内壁 5 からの反射光の伝搬光軸が照射ビーム光軸からずれる為、散乱光検出光学系 2001 にはほとんど入射しないことになる。

以上説明した様に、プラズマ処理室 86 の内壁 5 の表面の状態が凹凸の少ない平坦な状態（洗浄若しくは清掃した直後の反応生成物の付着やプラズマダメージが少なく汚染されていない状態）である場合、一回のビーム走査で得られる検出信号の形状は、図 9 に示す様に、ウェハ中心で信号強度が大きく、ウェハ端で信号強度が小さい形状となる。

これに対し、プラズマ処理を進めるに従って、プラズマ処理室 86 の内壁 5 には、反応生成物が付着したり、プラズマによるダメージが発生して汚染されていって、内壁 5 の表面には凹凸が発生することになる。図 8 は、プラズマ処理室 86 の内壁 5 が汚染されていって表面に凹凸が発生した場合を示している。

このように、内壁 5 が汚染されて凹凸が発生してくると、内壁 5 に当たった円若しくは楕円偏光ビーム 103 の大半は散乱することになる。従って、ガルバノミラー 25 を回転させて、ビーム 103 をウェハ面に平行な面内で走査した場合には、プラズマ処理室 86 の内壁 5 の表面に凹凸が増える（汚染が進む）に従って、正反射成分よりも散乱光成分が多くなり、その結果、順次図 9、図 10、図 11、図 12 に示す様にビーム走査位置による信号強度の違いが徐々に小さくなっていく。

従って、予め、プラズマ処理室 86 の内壁 5 の汚染状態を示す堆積した反応生

成物の厚さと、ロックインアンプ51bから抽出される検出位置に応じた反射(散乱)光信号のプロファイルの変化との関係を調べ、記憶装置40に入力して記憶しておけば、計算機42は、プラズマ処理室86の内壁5の汚染状況をモニタリングすることができることになる。

ところで、プラズマ処理室86の内壁5は通常円筒形を有しているため、図7に示すように汚染されていない場合には、ビーム103をウェハ中心からずらして照射した際、内壁5からの反射光の伝搬光軸が照射ビーム光軸からずれて、散乱光検出光学系2001にはほとんど入射しないことになる。

一方、図8に示すように汚染が進んでいった場合には、ビーム103をウェハ中心からずらして照射した際、内壁5からより多くの散乱光が発生して、散乱光検出光学系2001に入射して検出されることになる。

そこで、ガルバノミラー25の回転角を検出してビーム103のウェハ中心からのずれ量(検出位置)を設定しておけば、予め、その設定位置における内壁5の汚染状態を示す堆積した反応生成物の厚さと、ロックインアンプ51bから抽出される上記設定位置における反射(散乱)光信号の強度の変化との関係を調べ、記憶装置40に入力して記憶しておけば、計算機42は、プラズマ処理室86の内壁5の汚染状況をモニタリングすることができることになる。

他方、上記プラズマ処理室86の内壁5からの反射光(散乱光)の内、ビームスプリッタ27を透過する透過光は、空間フィルタ36により遮光されるため、異物散乱光検出用ファイバ33aには入射しないことになる。

以上説明したように、本第1の実施の形態によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及び周波数2つの領域において、内壁5の汚染状態である凹凸の変化を示す散乱光の強度変化を特にプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、内壁の汚染状態を高感度で検出することができ、その結果に基づいて、洗浄もしくは清掃等の対策を施すことによって、付着した反応生成物の剥がれ等によって生じるプラズマ中浮遊異物の発生を抑制することができる。当然、内壁5の汚染状態である凹凸の変化を示す散乱光の強度変化を浮遊異物からも分離して検出することが可能である。

また、本第1の実施の形態によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及

び周波数 2 つの領域において、微弱な異物散乱光を、プラズマ中異物検出で問題となるプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、従来の波長分離のみの方法に比べてプラズマ中浮遊異物の検出感度が大幅に向上するという効果が得られ、従来の波長分離のみの場合に得られる最小検出感度は、せいぜい  $\phi 1 \mu\text{m}$  程度が限界であったのに対し、本実施の形態の方法によれば、最小検出感度を  $\phi 0.2 \mu\text{m}$  程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になるという効果も得られる。さらに、ウェハ上全面で異物検出を行って、異物の個数、大きさ、分布を判定するので、操作者は、その情報を、例えば、ディスプレイ 41 上でリアルタイムで確認することもできる。

また、本第 1 の実施の形態によれば、プラズマを発光させた状態で、処理室内壁の汚染状態をモニタリングできるため、早期に洗浄や清掃等の対策を施して突発的多量浮遊異物の発生を抑制して歩留まりを向上させることが可能となる。

また、本第 1 の実施の形態によれば、プラズマを発光させた状態で、検出される浮遊異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できるため、例えば、クリーニング時期の最適化による装置稼働率の向上、突発的大量異物の発生の早期発見ができ、歩留まりが向上する。

また、本第 1 の実施の形態によれば、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

また、本第 1 の実施の形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

次に、本発明に係る第 2 の実施の形態を、図 14～図 15 に基づいて説明する。図 14 は、本第 2 の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置は、主としてレーザ照明光学系 2000 と散乱光検出光学系 2002 と制御・信号処理系 6001 とにより構成され、レーザ照明光学系 2000 と散乱光検出光学系 2

002における照明光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10に対向するように配置されている。

本第2の実施の形態において、前記第1実施形態と異なる点は、プラズマ処理室86の内壁5からの反射（散乱）光の検出をCCDカメラ等の撮像素子33cで行い、プラズマ処理室86の内壁5の汚染状況の判定を、該CCDカメラ等の撮像素子33cで得られた画像から判断する点である。すなわち、プラズマ処理室86の内壁5の表面の凹凸状態によって、発生するスペックルパターンが変化するため、該スペックルパターンを図15に示すように撮像素子33cで撮像し、該撮像された画像信号を基に検出されるスペックルパターンの変化から、内壁5の表面状態の微妙な変化を検出することができる。洗浄若しくは清掃した直後から反応生成物が付着したり、プラズマダメージが生じてきて汚染が進むと、内壁5の表面の状態が平坦な状態から凹凸状態が増大するように変化していき、スペックルパターンがない状態から増大していくことになる。そこで、内壁5の結像位置に受光面を設置した撮像素子33cで内壁5の表面から反射してくる画像を撮像し、該撮像された画像信号を計算機42で画像処理（例えば2次元方向に微分処理（ラプラシアンフィルタリング処理））することによってスペックルパターンの変化（例えばスペックルパターンの濃淡の変化）として内壁5の汚染状態を検出することができることになる。しかしながら、プラズマ発光の光については、撮像素子33cに入射されないように波長フィルタ等のフィルタ45でフィルタリングする（遮光する）ことが必要となる。

以上説明したように、本第2の実施の形態によれば、本第1実施形態と同様の効果を得られる他、プラズマ処理室の内壁5の表面の状態を画像として残すことが可能となる。

また、上記第1および第2の実施の形態において、特開平11-251252号公報に示されているような側方散乱光検出光学系（図1および図14に37で示す。）と併用することも可能である。

以上説明したように、処理室の内壁の汚染状況の計測結果、および／またはプラズマ中若しくはその近傍に浮遊する異物の計測結果について診断ユニット（42であってもよく、他の製造ライン管理装置でもよい）が診断して、処理室の内



壁や電極の側壁への反応生成物の付着を低減する手段（例えば処理室内壁や電極の側壁の温度を制御する手段や処理室内壁に沿って磁界を発生させる手段）にフィードバックして該手段を制御することによって、処理室内への反応生成物の付着を低減することができる。また、診断ユニットが、診断結果に基づいて被処理基板を製造ラインから排除することもでき、さらにクリーニング指示を出して被処理基板の投入を中止してクリーニングを実行してもよい。

また、本発明の実施の形態によれば、プラズマ中浮遊異物の最小検出感度を $0.2\mu\text{m}$ 程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になり、しかも異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できると同時に処理室内壁の汚染状況をモニタリングできるため、例えば、クリーニング時期の最適化による装置稼働率の向上、突発的大量異物の発生の早期発見ができ、歩留まりが向上する。また、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

また、本実施形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

これらの効果により、エッチング処理室内の汚染状況のリアルタイムモニタリングが可能となり、付着異物による不良ウェハの発生を低減でき、高品質の半導体素子の製造が可能になるという効果と、装置クリーニング時期を正確に把握することができるという効果が生まれる。

また、ダミーウェハを用いた異物の先行作業チェック作業の頻度が低減できるため、コストの低減と生産性の向上という効果が生まれる。また、製造ラインの自動化も可能となるという効果も有している。

本発明によれば、プラズマ処理室内壁の汚染状況をモニタリングすることができるため、事前に対策が施されて多量に異物が発生するのを防止して、歩留まり向上を図れると共に高品質の半導体素子の製造が可能になり、しかも装置クリーニング時期を正確に把握することができる効果が得られる。

また、本発明によれば、構成を簡単にして、プラズマ処理室内壁の汚染状況のモニタリングとプラズマ中浮遊異物のモニタリングとを行うことができる効果を奏する。

The invention may be embodied in other specific forms without departing from the spirit or essential characteristics thereof. The present embodiment is therefore to be considered in all respects as illustrative and not restrictive, the scope of the invention being indicated by the appended claims rather than by the foregoing description and all changes which come within the meaning and range of equivalency of the claims are therefore intended to be embraced therein.